

MEMBRAN CHITOSAN MODIFIED CARBOXYMETHYL (CS-MCM) SEBAGAI ADSORBEN ION Cu(II)

Tri Redjeki, Agung Nugroho CS., Lian Retna Sari

Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP Universitas Sebelas Maret

e-mail : tri_redjeki@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: 1) Perbedaan waktu penyerapan optimum antara membran kitosan dan membran *Chitosan Modified Carboxymethyl (CS-MCM)* terhadap ion Cu(II), 4) Perbedaan kapasitas adsorpsi pada membran kitosan dan membran *Chitosan Modified Carboxymethyl (CS-MCM)* terhadap ion Cu(II).

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan melalui beberapa tahap yaitu 1) Preparasi kitosan yang dilakukan melalui proses deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi, 2) Sintesis kitosan termodifikasi menjadi *Chitosan Modified Carboxymethyl (CS-MCM)*, 3) Pembuatan membran kitosan dan membran CS-MCM, 4) Karakterisasi membran kitosan dan membran *Chitosan Modified Carboxymethyl (CS-MCM)*, 5) Penyiapan larutan ion Cu(II), 6) Penentuan waktu adsorpsi optimum, 7) Penentuan kapasitas adsorpsi pada berbagai konsentrasi ion logam Cu(II) pada waktu optimum.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa : 1) Terdapat perbedaan waktu penyerapan optimum antara membran kitosan dan membran *Chitosan Modified Carboxymethyl (CS-MCM)* terhadap ion Cu(II) di mana waktu optimum adsorpsi membran kitosan adalah 60 menit sedangkan membran *Chitosan Modified Carboxymethyl (CS-MCM)* adalah 30 menit, 2) Terdapat perbedaan kapasitas adsorpsi pada membran kitosan dan membran *Chitosan Modified Carboxymethyl (CS-MCM)* terhadap ion Cu(II) di mana kapasitas adsorpsi optimum membran kitosan adalah 0,09029 mg/g sedangkan untuk membran *Chitosan Modified Carboxymethyl (CS-MCM)* adalah 0,06107 mg/g.

Kata Kunci : membran CS-MCM, adsorben, ion Cu(II)

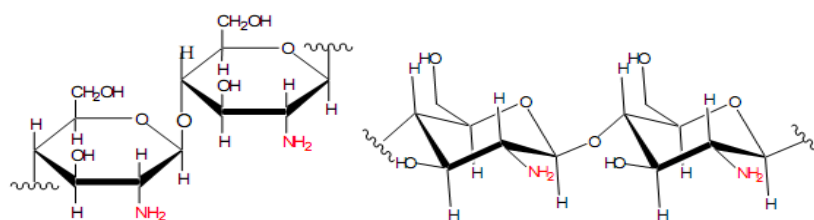
PENDAHULUAN

Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu zat pada permukaan zat lain. Pada adsorpsi fisika, adsorpsi disebabkan oleh gaya van der Waals yang ada pada permukaan adsorben. Pada adsorpsi kimia, terjadi reaksi antara zat yang diserap dan adsorben. Adsorpsi dipengaruhi beberapa factor yaitu : 1). pH, 2). Temperatur, 3). Waktu kontak, 4). Karakteristik adsorben, 5). Kelarutan adsorbat, 6). Ukuran molekul adsorbat (Benefield, L.D., 1982).

Kegiatan industri saat ini selain dapat mensejahterakan masyarakat juga dapat menghasilkan limbah yang dapat mencemari lingkungan. Sumber pencemaran dapat berasal dari kegiatan pertambangan, peleburan logam serta jenis industri lainnya. Salah satu komponen limbah cair yang bersifat toksik adalah logam berat Cu(II). Dalam tenggang waktu 96 jam, biota yang tergolong dalam keluarga Mollusca, akan mengalami kematian bila Cu(II) yang terlarut dalam perairan dimana biota tersebut hidup berada dalam kisaran 0,16 sampai 0,5 ppm. Konsentrasi Cu(II) yang berada dalam kisaran 2,5 sampai 3,0 ppm dalam badan perairan akan dapat membunuh ikan-ikan (Heryando, 2000).

Penghilangan logam berat dalam air pada konsentrasi tinggi dapat dilakukan dengan metode pengendapan kimia atau elektrokimia. Pada konsentrasi rendah, lebih efektif dilakukan dengan metode pertukaran ion atau adsorpsi dengan adsorben padat seperti karbon aktif (Imamoglu dan Teker, 1999). Menurut penelitian Guzel dan Uzun (2000), adsorben kitosan jauh lebih efektif mengadsorpsi ion logam Fe^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} dibandingkan adsorben dari karbon aktif.

Kitosan (poli-b-(1,4)-D-glukosamin) merupakan makromolekul dapat diperoleh dari proses deasetilasi kitin (poli-b-(1,4)-N-asetil- D-glukosamin) yang tersedia melimpah pada cangkang kepiting, kulit udang dan cangkang serangga (Baxter et al., 2005).



Gambar 1. Struktur Kitosan (Triana, 2004)

Dari hasil penelitian Agung Nugroho CS (2009), disimpulkan bahwa kitosan hasil sintesis dari kitin dalam cangkang kepiting mempunyai aktivitas sebagai anti bakteri pada kain katun. Dyahningtyas (1999), melaporkan penggunaan kitosan untuk menghilangkan cadmium (Cd) dalam larutan, sedangkan



Franco et al. (2004) menggunakan kitosan dari *Cunninghamella elegans* (IFM 46109) untuk biosorpsi logam-logam berat Pb, Fe dan Cu. Kitosan mempunyai kemampuan untuk mengikat ion-ion logam, terutama logam transisi melalui pembentukan ikatan koordinasi. Kemampuan adsorpsi kitosan dihubungkan dengan adanya gugus hidroksi (-OH) dan amina (-NH₂) yang dapat bertindak sebagai ligan jika berinteraksi dengan logam.

Kitosan, selain banyak diaplikasikan dalam bentuk serbuk, dapat juga diaplikasikan dalam bentuk membran. Meriatna (2008) melaporkan penggunaan membran kitosan untuk menurunkan kadar logam krom dan nikel dalam limbah cair industri pelapisan logam, di mana membran kitosan mampu menurunkan kadar logam Cr sebanyak 99,87% dan kadar logam Ni sebesar 91,13%.

Kitin tersebar luas di alam dan merupakan bagian konstituen yang sangat penting pada kerangka hewan golongan *Artropoda*, *Mollusca*, *Nematoda*, dan *Crustacea*. Menurut John Hendri (2008:271), di dalam cangkang kepiting mengandung senyawa kitin sampai 20-30 % berat kulit keringnya. Indonesia sangat berpotensi menghasilkan kitin dan produk turunannya, namun pada kenyataannya belum semua potensi kelautan yang ada telah dimanfaatkan secara maksimal. Limbah kulit kepiting dari industri pengalengan kepiting juga belum diolah secara maksimal.

Kitosan termodifikasi karboksimetil atau *Carboxymethyl Chitosan* (CS-MCM) merupakan salah satu turunan dari kitin yang diperoleh melalui suatu proses karboksimetilasi alkalis kitosan dengan asam-monokloroasetat. Serbuk CS-MCM ini mempunyai kelebihan dari kitin maupun kitosan karena serbuk CS-MCM mudah larut dalam air dibandingkan dengan serbuk kitin maupun serbuk kitosan, di samping itu serbuk CS-MCM bersifat biodegradable, biocompatible dan tidak beracun. Kelebihan serbuk CS-MCM adalah mudah diaplikasikan untuk mengikat tembaga pada air limbah, sebagai antikoagulan dan juga sebagai zat antimikroba (Davies et al, 1989).

Berdasarkan alur pemikiran di atas, maka dilakukan penelitian dengan mengaplikasikan membran *Chitosan Modified Carboxymethyl* (CS-MCM) hasil sintesis dari kitin yang terdapat dalam cangkang kepiting sebagai penyerap ion logam Cu(II). Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk memberikan sumbangan pemikiran dalam memanfaatkan nilai tambah hasil alam serta memperkaya bahan ajar kimia terutama untuk menambah penerapan mekanisme reaksi kimia dalam kegiatan teknologi.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui :

1. Perbedaan waktu penyerapan optimum antara membran kitosan dan membran *Chitosan Modified Carboxymethyl* (CS-MCM) terhadap ion Cu(II)
2. Perbedaan kapasitas adsorpsi pada membran kitosan dan membran *Chitosan Modified Carboxymethyl* (CS-MCM) terhadap ion Cu(II)

METODE PENELITIAN

1. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: limbah cangkang kepiting, natrium hidroksida, asam asetat, asam monokloroasetat, methanol, akuades, glutaraldehid, H₂SO₄, dan larutan standart Cu(II). Adapun alat-alat yang digunakan adalah: satu set alat refluks, hot plate stirrer, oven, alat-alat gelas, kertas saring, neraca analitik, spektrofotometer serapan atom (AAS), dan spektrometer infra merah (Shimadzu FTIR-8201 PC).

2. Prosedur Penelitian

a. Preparasi Kitosan dari Limbah Cangkang Kepiting

Bahan baku diambil dari kepiting yang berasal dari pedagang *seafood* dengan cara mengambil cangkangnya kemudian dicuci dengan air dan disikat sampai bersih lalu dikeringkan di sinar matahari selama satu hari. Selanjutnya diblender dan diayak dengan ukuran ayakan 100 mesh (150µm). Serbuk cangkang kepiting yang diperoleh kemudian dikeringkan pada suhu 60°C selama 48 jam. Sintesis kitin dari limbah cangkang kepiting dan konversi kitin menjadi kitosan dilakukan menurut metode Agung Nugroho C.S (2009), yang meliputi tahap deproteinasi (NaOH 4%, 80°C), demineralisasi (HCl 1M, suhu kamar), dan deasetilasi (NaOH 50%, 100°C). Kitosan yang diperoleh dikeringkan pada suhu 60°C selama 48 jam.



b. Sintesis Chitosan Modified Carboxymethyl (CS-MCM)

CS-MCM disintesis menurut metode Nada, et al (2005:361), yaitu 5 gram kitosan dilarutkan dalam 100 ml larutan NaOH 20%, diaduk selama 15 menit, kemudian ditambah 15 gram asam monokloroasetat, diaduk selama 2 jam pada suhu 40°C. Larutan kitosan-monokloroasetat dinetralkan dengan larutan asam asetat 10% lalu dituangkan ke dalam larutan metanol 70% berlebih, selanjutnya disaring dan dicuci dengan metanol. Produk yang diperoleh kemudian dikeringkan pada suhu 55°C selama 8 jam.

c. Pembuatan Membran Kitosan dan Membran CS-MCM

Metode pembuatan membran kitosan mengadopsi metode Meriatna (2008). Sebanyak 5 gram kitosan dilarutkan dalam 250 ml larutan asam asetat 1% pada temperatur kamar, lalu diaduk hingga homogen, kemudian dituangkan kedalam plat kaca dan dikeringkan pada temperatur kamar. Lapisan kitosan kemudian dicelupkan dalam larutan NaOH 1% pada temperatur kamar lalu dicuci dengan akuades dan dikeringkan. Membran kitosan yang dihasilkan kemudian dicelupkan dalam 50 ml larutan glutaraldehid 0,4% yang mengandung 5 ml H₂SO₄ 0,5 N, lalu dicuci dengan akuades dan dikeringkan pada temperatur kamar. Karakterisasi gugus fungsi membran *Chitosan* dan membran CS-MCM dengan menggunakan spektroskopi FTIR.

d. Penentuan Waktu Penyerapan Optimum

Penentuan waktu penyerapan optimum dilakukan dengan 0,1 gram membran kitosan maupun CS-MCM terhadap 10 ml larutan Cu(II) 4 ppm dengan variasi waktu kontak selama 10, 30, 60, 90 dan 120 menit. Kadar Cu(II) yang tersisa ditentukan dengan spektrofotometer serapan atom (AAS).

e. Penentuan Kapasitas Adsorpsi Berbagai Konsentrasi Ion Logam Cu(II) pada Waktu Optimum

Penentuan kapasitas adsorpsi dengan 0,1 gram membran kitosan maupun membran CS-MCM 2% dalam 10 ml larutan Cu(II) 1 ppm; 2 ppm; 3 ppm; dan 4 ppm dengan waktu kontak 60 menit untuk membran kitosan dan 30 menit untuk membran CS-MCM

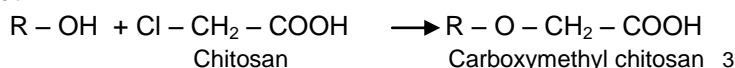
HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Preparasi Kitosan dari Limbah Cangkang Kepiting

Pada tahap deproteinasi merupakan suatu proses pemisahan atau pelepasan ikatan antara protein dan kitin dengan cara menambahkan natrium hidroksida (NaOH). Tahap Demineralisasi digunakan reagen HCl untuk menghilangkan mineral yang ada pada cangkang kepiting terutama CaCO₃ dan sedikit Ca₃(PO₄)₂. Tahap Deasetilasi menggunakan alkali pada suhu tinggi akan menyebabkan terlepasnya gugus asetil (CH₃CHO) dari molekul kitin. Gugus amida pada kitin akan berikatan dengan gugus hidrogen yang bermuatan positif sehingga membentuk gugus amina bebas –NH₂ (Mekawati dkk., 2000).

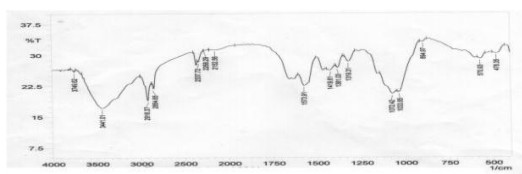
b. Sintesis Chitosan Modified Carboxymethyl (CS-MCM) dari Kitosan

Adanya rantai –CH₂OH maupun gugus –NH₂ pada kitosan memungkinkan untuk memodifikasi kitosan. Pada penelitian ini kitosan dimodifikasi dengan mereaksikan kitosan dengan asamkloroasetat dalam pelarut basa NaOH. Menurut Nada, A.M.A. et.al (2005) reaksi kitosan dengan asam-monokloroasetat adalah sebagai berikut :



Berdasarkan hasil reaksi tersebut menunjukkan bahwa adanya gugus –OH pada kitosan menyebabkan kitosan bertindak sebagai nukleofil melalui reaksi substitusi nukleofilik terhadap asam-monokloroasetat, sehingga substituen –CH₂OH pada rantai siklik pada kitosan berubah menjadi –CH₂OCH₃COOH.

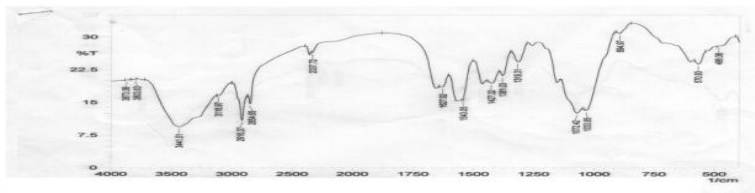
Hasil spektrum FTIR membran *Chitosan* dan membran *Chitosan Modified Carboxymethyl*(CS-MCM) seperti pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Spektrum FTIR Hasil Analisis Pembuatan Membran Kitosan



Berdasarkan Gambar 2, serapan pada $3441,05\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi ulur gugus -OH yang melebar. Lebarnya serapan gugus -OH pada membran kitosan disebabkan adanya tumpang tindih dengan gugus -NH dari amina. Hal ini menunjukkan bahwa kitosan telah terbentuk melalui proses deasetilasi. Pita serapan $1072,42\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi ulur C-O dan vibrasi tekuk C-H dalam bidang dan pita serapan $894,97\text{ cm}^{-1}$ merupakan rentangan cincin. Untuk pita serapan membran kitosan lainnya yaitu pada pita serapan $2916,37\text{ cm}^{-1}$ dan $2854,65\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan rentangan asimetri gugus $\text{-CH}_2\text{-}$ dan rentangan simetri gugus -CH_3 . Serapan khas kitosan terlihat pada bilangan gelombang $1573,91\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi tekuk N-H yang menunjukkan keberadaan amina (-NH_2). Berdasarkan analisis di atas, maka dapat disimpulkan bahwa produk yang dihasilkan adalah membran kitosan.



Gambar 3. Spektrum FTIR Hasil Analisis Pembuatan Membran Chitosan Modified Carboxymethyl (CS-MCM).

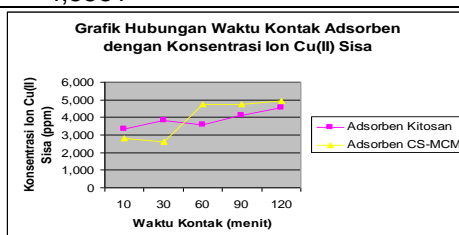
Berdasarkan spektrum di atas adanya pita serapan pada $3441,01\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi ulur gugus -OH yang melebar, sedangkan pita serapan $3116,97\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur -NH amida sekunder. Lebarnya serapan dan pergeseran pita serapan gugus -OH pada kitosan termodifikasi tersebut disebabkan adanya tumpang tindih dengan gugus -NH dari amina. Serapan yang tidak terlalu tinggi pada $1627,92\text{ cm}^{-1}$ merupakan puncak khas dari vibrasi regang C=O , adanya pita serapan $1543,05\text{ cm}^{-1}$ pada membran (CS-MCM) merupakan vibrasi tekuk N-H (gugus amina), dan pita serapan $1319,31\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi ulur C-N amina alifatik. Pita serapan $1072,42$ dan $1033,85\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi ulur C-O dan vibrasi tekuk C-H dalam bidang dan pita serapan $894,97\text{ cm}^{-1}$ merupakan rentangan cincin. Pita serapan membran CS-MCM lainnya yaitu $2916,37\text{ cm}^{-1}$ dan $2854,65\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan rentangan asimetri gugus $\text{-CH}_2\text{-}$ dan rentangan simetri gugus -CH_3 . Serapan khas kitosan terlihat pada bilangan gelombang $1543,05\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi tekuk N-H yang menunjukkan keberadaan amina (-NH_2). Berdasarkan analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa produk yang dihasilkan adalah Membran *Chitosan Modified Carboxymethyl* (CS-MCM).

c. Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Ion Cu(II)

Dari pengukuran pengaruh waktu kontak membran kitosan terhadap adsorpsi ion Cu(II) diperoleh data seperti Tabel 1 dan grafik pada Gambar 4.

Tabel 1. Data Pengaruh Waktu Kontak Membran Kitosan Terhadap Ion Cu(II)

No	Waktu kontak (menit)	Konsentrasi ion Cu(II) sisa (ppm)	
		Adsorben Membran Kitosan	Adsorben Membran <i>Chitosan Modified Carboxymethyl</i> (CS-MCM)
1	10	3,3353	2,7991
2	30	3,8006	2,6300
3	60	3,5647	4,7462
4	90	4,1008	4,7475
5	120	4,5531	4,9245



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Waktu Kontak dan Konsentrasi Ion Cu(II)

Berdasarkan data tersebut terlihat bahwa semakin lama waktu penyerapannya maka semakin banyak logam yang terserap. Pada proses penyerapan ion Cu^{2+} diperoleh waktu optimum untuk membran

kitosan adalah 60 menit, sedangkan untuk membran *Chitosan Modified Carboxymethyl* (CS-MCM) 30 menit.

Untuk membran kitosan, pada proses penyerapan setelah menit ke -60, konsentrasi ion Cu^{2+} yang justru naik menjadi 4,1008 ppm pada menit ke 90 dan 4,5531 pada menit ke 120. Begitu pula dengan membran *Chitosan Modified Carboxymethyl*(CS-MCM), setelah menit ke-30, konsentrasi ion Cu^{2+} justru naik menjadi 4,7462 ppm pada menit ke 60 ; 4,7475 pada menit ke 90 dan 4,9245 pada menit ke 120. Hal ini mungkin dikarenakan pada kondisi tersebut kitosan telah jenuh oleh adsorbat, semua situs aktif pada membran kitosan maupun membran CS-MCM telah jenuh dengan ion logam Cu(II) sehingga interaksi yang terjadi antara ion logam Cu(II) dengan gugus amina yang terdapat pada membran kitosan maupun membran CS-MCM makin lemah dan kemampuan mengikat ion logamnya pun berkurang.

d. Pengaruh Variasi Konsentrasi Ion Cu(II) Terhadap Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi dalam penelitian adalah banyaknya mg ion Cu(II) yang diserap oleh satu gram adsorben. Setelah didapatkan waktu kontak optimum yaitu 60 menit untuk membran kitosan dan 30 menit untuk membran CS-MCM, selanjutnya baik membran kitosan maupun membran CS-MCM digunakan untuk mengadsorpsi ion Cu(II) dengan variasi konsentrasi awal ion Cu(II) adalah 1, 2, 3, dan 4 ppm, sehingga diperoleh data seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Pengaruh Variasi Konsentrasi Ion Cu(II) terhadap Kapasitas Adsorpsi Membran Kitosan dan Membran CM-MCM (0,1 g adsorben/10 ml larutan)

No	Konsentrasi awal ion Cu(II) (mg/L)	Konsentrasi akhir ion Cu^{2+} (mg/L)		Kapasitas adsorpsi (mg/g)	
		Membran Kitosan	Membran CM-MCM	Membran Kitosan	Membran CM-MCM
1	1	0,8277	0,7401	0,01723	0,02599
2	2	1,924	1,7317	0,0076	0,02683
3	3	2,3761	2,5684	0,06239	0,04316
4	4	3,0971	3,3893	0,09029	0,06107

Berdasarkan data kapasitas adsorpsi di atas, untuk membran kitosan, kapasitas adsorpsi terbesar adalah pada konsentrasi 4 ppm, yaitu 0,09029 mg/g, sedangkan untuk membran CS-MCM kapasitas adsorpsi terbesar pada konsentrasi 4 ppm yaitu 0,06107 mg/g . Semakin besar konsentrasi adsorbat, kapasitas adsorpsi cenderung naik. Hal ini mungkin disebabkan dengan semakin besarnya konsentrasi larutan ion logam, akan semakin banyak molekul ion logam yang berinteraksi dengan adsorben.

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa membran kitosan memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar dari pada membran CS-MCM. Rata-rata kapasitas adsorpsi pada membran kitosan lebih besar dari pada membran CS-MCM. Hal ini bisa dijelaskan bahwa kitosan dapat mengikat ion-ion logam karena pasangan elektron bebas pada gugus amina primer bersifat nukleofilik sebagai akseptor proton sehingga gugus amina ini dapat terprotonasi. Dengan adanya gugus amina bebas $-\text{NH}_2$ kitosan dapat mengadsorpsi ion logam dengan membentuk senyawa kompleks (kelat). Reaksi pembentukan kompleks (kelat) merupakan reaksi asam-basa Lewis, dengan asam Lewis adalah penerima elektron, dan basa Lewis adalah penyumbang elektron. Pada pembentukan kompleks kitosan-ion logam, ligan $-\text{NH}_2$ bertindak sebagai basa Lewis yang menyumbangkan sepasang elektron ke ion Cu(II) membentuk ikatan kovalen koordinasi. Namun dengan adanya gugus karboksimetil pada CS-MCM kemungkinan memberikan rintangan sterik sehingga kemampuan mengkelat lebih sulit. Di samping itu karena membran CS-CM larut dalam air sedangkan membran kitosan tidak larut dalam air, kemungkinan hasil adsorpsi dengan membran kitosan terhadap ion Cu(II) lebih mudah dipisahkan dari larutan.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Terdapat perbedaan waktu penyerapan optimum antara membran kitosan dan membran *Chitosan Modified Carboxymethyl* (CS-MCM) terhadap ion Cu(II) di mana waktu optimum adsorpsi membran kitosan adalah 60 menit, sedangkan membran *Chitosan Modified Carboxymethyl* (CS-MCM) adalah 30 menit.
2. Terdapat perbedaan kapasitas adsorpsi pada membran kitosan dan membran *Chitosan Modified Carboxymethyl* (CS-MCM) terhadap ion Cu(II) di mana kapasitas adsorpsi optimum membran kitosan adalah 0,09029 mg/g sedangkan untuk membran *Chitosan Modified Carboxymethyl* (CS-MCM) adalah 0,06107 mg/g.



3. Berdasarkan kesimpulan dari hasil penelitian ini untuk digunakan sebagai adsorben membran *Chitosan Modified Carboxymethyl (CS-MCM)* sebaiknya disintesis sampai diperoleh produk dengan tingkat kemurnian tinggi..

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Nugroho CS. 2009. *Pengaruh Metode Preparasi Kitosan terhadap Sifat Kitosan dan Aplikasinya sebagai Bahan Anti bakteri pada Kain Katun*. Thesis S-2. UGM. Yogyakarta.
- Baxter, S., Zivanovic, S. and Weiss, J., 2005, Molecular Weight and Degree of acetylation of High-intensity Ultrasonicated Chitosan. *Food Hydrocolloids*, 19, 821-830.
- Benefield, L.D., J. F. Judkins, and B. L. Weand, 1982, *Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 199-200.
- Davies, D.H., C.M.Elso., and E.R.Hayes. 1989. N,O-Carboxymethyl Chitosan, a New Water Soluble Chitin Derivative. In *Chitin and Chitosan*. Edited by Gudmund Skjak-Braek, Thorleif Anthosen and Paul Sandford. *Elsevier applied science*. P. 474.
- Dyahningtyas, T.E., 1999, *Penghilangan Kadmium (Cd) dengan Menggunakan Chitosan*, Prosiding Seminar Nasional Kimia V, Laboratorium Kimia Anorganik FMIPA UGM Yogyakarta, tanggal 8-9 Maret 1999.
- Franco, L. O., Maia, R.C., Porto, A.L.F., Messias, A.S., Fukushima, K. and Campos-Takaki, G.M., 2004, Heavy Metal Biosorption by Chitin and Chitosan Isolated from *Cunninghamella elegans* (IFM 46109), *Braz.J.Microbiol.*, 35, 3.
- Guzel, F. and Uzun, I., 2000, Adsorption of Some Heavy Metal Ion from Aqueous Solution by Activated Carbon and Comparison of Percent Adsorption Result of Activated Carbon with Those of Some Other Adsorbent, *Turk. J. Chem.*, 24, 291-297.
- Harry Agusnandar, 2006, Penggunaan Membran Kitin dan Turunannya dari Tulang Rawan Cumi-Cumi Untuk Menurunkan Kadar Logam Co, *Jurnal Sains Kimia*, 10, No 2, 80-85
- Heryando Palar, 2000, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Jakarta: Rineka Cipta.
- Imamoglu, M. and Teker, M., 1999, Adsorption of Copper and Cadmium Ions by Activated Carbon from Rice Hulls, *Turk. J. Chem.*, 23, 185-191.
- John Hendri. 2008. *Teknik Deproteinasi Kulit Rajungan (Portunus pelagious) Secara Enzimatis dengan menggunakan Bakteri Pseudomonas aeruginosa Untuk Pembuatan Polimer Kitin dan Deasetilasinya*. Seminar Hasil Penelitian & Pengabdian kepada Masyarakat. Unila: Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. 271-283.
- Mekawati, Fachriyah E, dan Sumardjo, D. 2000. "Aplikasi Kitosan Hasil tranformasi Kitin Limbah Udang (*Penaeus merguensis*) untuk Adsorpsi Ion Logam Timbal". *Jurnal Sains and Matematika*. FMIPA Undip, Semarang, Vol. 8 (2), hal. 51-54
- Meriatna, 2008, *Penggunaan Membran Kitosan untuk Menurunkan Kadar Logam Krom (Cr) dan Nikel (Ni) dalam Limbah Cair Industri Pelapisan Logam*. Tesis S2, Program Studi Teknik Kimia, Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatra Utara.
- Nada, A. M. A., et al. 2005. Effect of Chitosan and its Derivatives on the Mechanical and Electrical Properties of Paper Sheets. *Egypt. J. Solids*, Vol. (28), No. (2).
- Triana Kusumaningsih, Masykur, A. & Arief, U. 2004. "Pembuatan Kitosan dari Kitin Cangkrang Bekicot (*Achatina fulica*)". *Biofarmasi*, 2 (2), 64-68.

